E/CONF.39/A/70
4 Oct.1962
ORIGINAL : FRANCAIS

CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR L'APPLICATION DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNIQUE
DANS L'INTÉRÊT DES RÉGIONS PEU DÉVELOPPÉES

Point de l'ordre du jour : A.3.3.1 France

L'INVENTAIRE RATIONNEL DES RESSOURCES HYDRAULIQUES PAR DES MOYENS MODERNES DE PROSPECTION

Par J. J. BREUSSE,
Ingénieur géophysicien
à la Compagnie générale de Géophysique

et J. TIXERONT,
Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées,
Ingénieur-conseil de la Société Centrale
pour l'Equipement du Territoire

Les mémoires rédigés à l'intention de la Conférence des Nations Unies sur l'application de la science et de la technique dans l'intérêt des régions peu développées sont des documents de travail. Ils sont publiés tels qu'ils ont été présentés et les assertions et opinions qu'ils contiennent sont celles de leurs auteurs.

NOTES

1. Les mémoires choisis pour être présentés en séance générale pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

2. Les mémoires choisis pour être présentés en séance spéciale pourront être obtenus à la Conférence dans l'une seulement de ces langues officielles.

3. Les résumés qui ont été rédigés pour tous les mémoires par les auteurs de ceux-ci pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: angluis, espagnol, français et russe.

4. Préalablement à la Conférence, les mémoires et les résumés ne feront pas l'objet d'une distribution générale mais d'un tirage restreint destiné aux délégations des gouvernements et autres participants officiels. La publication et la distribution générale des actes de la Conférence s'effectueront conformément aux règles et pratiques agréées par le Comité des publications des Nations Unies.

L'INVENTAIRE RATIONNEL DES RESSOURCES HYDRAULIQUES PAR DES MOYENS MODERNES DE PROSPECTION

par J.J. BREUSSE, ingénieur géophysicien
à la Compagnie générale de Géophysique

et J. TIXERONT, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées,
ingénieur-conseil de la Société centrale
pour l'Equipement du Territoire

Un inventaire rationnel des ressources hydrauliques doit commencer par définir le régime de la pluie, des cours d'eau, des sources dans les conditions naturelles Mais l'adaptation des ressources aux besoins ne peut en général se faire que par l'intermédiaire de réserves d'eau naturelles ou artificielles. Nous examinerons successivement ces deux aspects de la question :

I - LES RESSOURCES NATURELLES

Les ressources naturelles sont accessibles à l'observation directe. Mais les stations d'observations ne peuvent être multipliées indéfiniment. Il y a des lacunes à combler, surtout dans les pays neufs. On est donc forcé par une analyse toujours plus précise des conditions naturelles, de pallier ces lacunes par des méthodes de raccordement des données dont nous allons donner quelques exemples. D'autre part, les progrès faits en matière de stations automatiques avec transmission à distance permettent maintenant de faire fonctionner des postes en des points où il serait trop coûteux de placer des observateurs. La Météorologie Nationale a équipé ainsi un vaste périmètre au Sahara.

La pluie -

Le procédé le plus intéressant pour se rendre compte de l'étendue et de l'évolution des précipitations en l'absence d'indications pluviométriques, est l'observation au radar météorologique. Cet instrument ne permet pas encore d'évaluations numériques précises des chutes de pluie, mais permet d'explorer rapidement un vaste champ, et cette rapidité est très précieuse pour l'étude et la prévision des crues. Des applications de cette technique ont été faites en France par la Météorologie Nationale, l'Institut de Physique du Globe du Puy de Dôme et par la Société d'Etudes des précipitations (SODETEP).

Dans un autre ordre d'idées, la répartition de la pluie annuelle sur un territoire est un élément essentiel à connaître pour l'inventaire des eaux de ruissellement . Il faut donc interpoler les indications des pluviomètres. Les progrès de la phytosociologie et de la climatologie ont permis de dresser de nombreuses cartes de précipitation raisonnablement précises en tenant compte de l'exposition des versants, de leur altitude de leur couverture végétale, grâce aux travaux des professeurs GAUSSEN, EMBERGER et de leurs collaborateurs.

Le ruissellement -

L'écoulement moyen annuel des bassins et sa variabilité interannuelles sont deux éléments importants que nous examinerons à titre d'exemple. Là également, il faut pallier les lacunes des réseaux hydrométriques. On s'est efforcé de préciser les relations du ruissellement avec la pluie, la température, les caractéristiques des sols. On a intérêt à faire intervenir la température par une fonction représentant l'évapotranspiration potentielle (Thomthwaite, Contagne, Henin, Turc, Berkaloff). Les caractéristiques des sols sont à prendre en compte. Des recherches sont en cours pour préciser leur influence sur de petits bassins, ou sur des bassins à sols plus ou moins squelettiques. Les connaissances progressent rapidement au fur et à mesure qu'elles portent sur des conditions plus variées.

On arrive à transposer les résultats des stations de jaugeages, des bassins non contrôlés non seulement pour le ruissellement moyen, mais encore pour sa variabilité. Les lois de distribution statistiques ont fait l'objet des études de Gibrat.

Elles sont en général définies par des caractéristiques simples, en rapport avec la superficie des bassins et le taux de ruissellement moyen. Les résultats obtenus dans cette voie sont constamment améliorés. L'analyse fréquentielle des besoins d'eau complète l'analyse fréquentielle des ressources (DARLOT - voir communication présentée d'autre part).

Le régime des sources ressort de méthodes d'investigation qui ne sont pas forcément différentes.

II - LES RESERVES D'EAU

Le sol-

La réserve la plus importante est le sol. C'est une immense réserve naturelle qui conditionne non seulement l'agriculture, mais tout le cycle hydrologique. Nous avons vu son importance pour le ruissellement. Sa connaissance est indispensable pour inventorier les possibilités d'irrigations par épandage d'eaux de crues les possibilités de suralimentation des nappes, les effets et l'activité humaine sur le cycle hydrologique etc..

La variété des sols met au premier plan les problèmes de cartographie dont la solution est maintenant rendue très aisée par l'utilisation intensive de la photographie aérienne. Non seulement elle permet de tracer et préciser tous les contours, mais on voi poindre de nouvelles possibilités d'étude d'analyse sur photographie des conditions d'absorption des radiations par le sol qui conditionnent l'évaporation.

L'hydrologie du sol est devenue une des principales préoccupations des organisations qui s'occupent d'inventaire des ressources hydrauliques.

Les réserves superficielles -

Nous ne nous arrêterons pas ici au problème des réserves superficielles dont la prospection est faite systématiquement en s'appuyant sur de bonnes cartes topographiques et sur la photographie aérienne.

Les réserves souterraines -

Les méthodes de prospection des eaux souterraines maintenant classiques ont été mises au point en France par GOSSELIN. On trouvera ces méthodes exposées dans les Annales des Ponts et Chaussées (l'Inventaire des ressources hydrauliques de la Tunisie) et les ouvrages de ses collaborateurs, SCHOELLER en particulier (les eaux souterraines, MASSON - éditeur).

Un certain nombre de principes déjà exposés pour les eaux superficielles sont valables pour les eaux souterraines : hydrologie du sol, variabilité d'alimentation.

Un autre principe doit guider l'inventaire des ressources hydrauliques et son importance est de plus en plus réalisée. C'est l'interdépendance entre les eaux souterraines, les eaux superficielles et les eaux du sol. Prenons par exemple un secteur de la plaine du HAOUZ de Marrakech. L'oued Nfir apporte en moyenne en tête du secteur 140 millions de m3 dont 100 millions sont dérivés pour les irrigations et 40 millions sont évacués vers la mer. Les eaux superficielles sont partiellement régularisées par un barrage réservoir d'une capacité de 50 millions de m3. Les eaux dérivées s'infiltrent partiellement et alimentent une nappe souterraine sous jacente. La nappe souterraine est soumise à un pompage intensif portant sur environ 35 millions de m3 dont 5 environ retournent à la nappe. Cette exemple suffit à montrer que :

a/ la ressource souterraine est en fait incluse dans les 140 M de ressource superficielle.
b/ les réserves sont par contre indépendantes - elles s'ajoutent.
c/ l'utilisation optimum des eaux ne peut être fixée qu'après avoir procédé simultanément à l'inventaire de toutes les réserves et précisé les échanges entre eaux superficielles et nappes souterraines.

Parmi les méthodes et procédés modernes de prospection et d'inventaire qui caractérisent l'hydrologie actuelle, nous nous limiterons aux suivantes :

a/ nous avons vu la nécessité d'un inventaire intégré des ressources. Cette nécessité amène à systématiser au maximum le travail d'inventaire par l'établissement de cartes hydrologiques et hydrogéologiques régulières

b/ lorsqu'on connaît bien les conditions climatiques, topographiques, géologiques d'une nappe, et ses conditions d'exploitation, on peut étudier sur modèle son fonctionnement en reproduisant les conditions d'une série d'années connues, et on en déduira les conditions de fonctionnement permises par des travaux de captages et d'amélioration hydrauliques projetés. La méthode du modele électrique est surtout employée en France en raison de sa simplicité et de son faible coût(MALAVAUD).

c/ l'utilisation des isotopes radioactifs est une technique très moderne dont on attend des résultats importants dans l'étude des bilans d'eau.

d/ on connaît mieux maintenant les possibilités des méthodes de prospection géophysique proprement dite dérivées des travaux initiaux de SCHLOMBERGER.

Nous insisterons dans le chapitre suivant sur ces dernières méthodes.

III - LES METHODES DE PROSPECTION GEOPHYSIQUES

Présentons les principales méthodes de prospection : électrique, sismique réfraction.

En prospection électrique, on sait que la résistivité d'un terrain dépend beaucoup des propriétés physiques et chimiques de l'eau d'imbibition et de sa teneur, d'où les larges variations de ce "paramètre", de 0,I à plusieurs milliers d'ohms. Elle permet de comparer, qualitativement tout au moins, les perméabilités des alluvions et formations meubles. C'est ainsi que pour une même eau d'imbibition, une alluvion sera d'autant plus perméable qu'elle sera électriquement résistante, tandis que, dans une masse compacte, une zone faillée se marquera par une bande conductrice.

Le sondage électrique mesure la résistivité apparente en fonction de la profondeur. La carte de résistivité, au contraire, la fait connaître, à profondeur constante, sur tout un périmètre. La prospection électrique se distingue par une grande facilité de mise en oeuvre. Elle est très souple, s'adapte immédiatement à des problèmes variés et conduit à des économies importantes par la suppression des forages mal placés (50 à 70 % selon des chiffres présentés à la Conférence Inter-Africaine d'Hydrologie, NAIROBI, Janvier I96I). Elle s'appuie sur une interprétation mathématique, donc scientifique, des diagrammes.

On a songé à utiliser les courants naturels de la polarisation spontanée, causés par les phénomènes d'électrofiltration et d'évaporation à la surface des terrains détritiques et de certains massifs de roches poreuses. En reconnaissance générale, la polarisation spontanée aiderait à localiser des zones de plus grand coefficient d'infiltration de l'impluvium et même à repérer des nappes peu profondes . L'expérimentation mériterait d'être poussée en pays tropicaux et semi désertiques. En revanche, ces essais pratiques de polarisation provoquée n'ont pas été encore très probants, les phénomènes étant surtout fonction de la teneur en argile.

La sismique réfraction, met en jeu les vitesses de propagation des ondes sismiques. On l'emploie surtout à reconnaître sous des alluvions, l'allure du rocher ; elle vient, au secours de la méthode électrique qui est en difficulté lorsque les résistivités des alluvions et du rocher sont trop voisines. Pour des études structurales profondes (plusieurs centaines de mètres) la sismique réfraction intervient dans des cas particuliers, par exemple étude d'un horizon calcaire aquifère. Comparée à la prospection électrique, la sismique réfraction est beaucoup moins sensible aux faciès des terrains, à leur altération et ne fournit pas d'indications de la perméabilité. Sa mise en oeuvre est plus complexe, son prix de revient est plus élevé. Elle constitue donc une méthode d'appoint,

Pour mémoire, citons la méthode magnétique, efficace sur les formations volcaniques, pour reconnaître, par exemple, des coulées de lave ou des dykes.

Examinons maintenant les différents problèmes qui sont posés couramment au géophysicien. En premier lieu viennent les études des nappes alluviales et des dunes. Il s'agit d'estimer des épaisseurs d'alluvions, de découvrir des anciens lits et sur leur tracé, localiser les zones les plus perméables, de connaître le substratum, de dicerner les formations imbibées d'eau, d'en apprécier la salinité, de localiser les limites entre nappes d'eaux douces ou salées.

Des problèmes techniques sont également posés : préciser en profondeur, l'allure d'un terrain qui, connu en affleurement, se révèlera aquifère et peut-être artésien. On étudie les failles, horst et grabens, anticlinaux et synclinaux et surtout les seuils hydrauliques. En présence de formations volcaniques on met en évidence les coulées de laves et les tufs perméables avec l'ancien réseau hydrographique.

En résumé, peu de problèmes échappent à l'investigation géophysique, hormis ceux que soulève le véritable registre karstique des eaux dans les calcaires. Mention doit être faite ici du carottage électrique. Il est devenu une aide indispensable à la prospection des formations hydrauliques par sondage et son exécution accompagne de plus en plus systématiquement les forages de prospection.

Citons quelques exemples de prospection hydrologique :

Plaine de CATANE (Italie) - cet exemple se rapporte à l'étude hydrologique générale de la plaine de Catane dont la superficie dépasse 300 km2 ; Un partie est couverte par des coulées de basalte, le reste du bassin par des alluvions : alluvions grossières et en terrasses, masquées ou non par des limons argileux. Ces formations reposent sur des argiles bleues quaternaires constituant le plannher imperméable, au-dessus du tertiaire sous jacent déjà connu sur les bordures.

De nombreuses explorations s'étant révélées stériles, il a été demandé à la méthode électrique d'éclaircir les possibilités aquifères du tertiaire sous-jacent et de certains bancs sableux intercalés dans les argiles bleues quaternaires et de préciser le tracé de l'ancien réseau hydrographique. Quelques sondages électriques ont montré qu'il existait sous le recouvrement alluvial volcanique, une formation conductrice correspondant à des épaisseurs d'argiles bleues, beaucoup plus importants qu'on ne l'imaginait. Ils ont également indiqué que les bancs sableux étaient trop minces ou trop imbibés d'eau salée. Il restait à préciser le tracé de l'ancien réseau hydrographique. Grâce à de nouveaux sondages électriques il a été construit une carte en courbes de niveau du toît des argiles bleues. Cette carte montre que le massif argileux culmine au Nord de l'étude. Il est entaillé par un puissant réseau hydrographique qui, sous les laves, collecte la majorité des eaux.

Les forages exécutés à la suite de ces conclusions, ont été couronnés de succès. Ceux qui ont été implantés sur le lit de l'ancien fleuve Simeto, ont rencontré de puissantes nappes artésiennes.

Seuil hydraulique de SBEITLA (Tunisie) - Un miocène gréseux à intercalations marneuses repose sur une série marno-calcaire du crétacé supérieur dont les bancs calcaires se comportent probablement comme des collecteurs d'une partie des nappes miocènes. Les relevés géologiques laissaient prévoir la présence d'une grande faille capable de constituer un seuil hydraulique.

Le tracé de la faille a été précisé par onze profils de résistivité. Une lentille résistante gréseuse signalée par la prospection, entre des bancs calcaires pouvait être aquifère. Un forage a effectivement rencontré 120 mètres de grés donnant une eau jaillissante. Plus bas il a touché à 360 mètres les calcaires également aquifères.

Plaine de WARNIER, région d'ORLEANSVILLE(Algérie) - Un forage profond, destiné à l'alimentation en eau, devait être placé dans les meilleures conditions à l'intérieur d'une surface de 6 km2. Sous les dépôts quaternaires se rencontrent les couches marno-sableuses du Villafranchien, des limons et des grès, puis les sables et grès de l'Astien, les marnes bleues du Plaisancien, les grès sableux et conglomérats de base du Pliocène, enfin les marnes du miocène supérieur. En profondeur, plonge le périclinal d'un anticlinal à coeur de miocène marneux affleurant.

Par sondage électrique, il a constaté qu'un horizon repère est constitué par le toît des marnes plaisanciennes et, en cas de disparition du plaisancien, par le toit des marnes miocènes. Il est donc possible de suivre le sustratum imperméable, conducteur. Une carte en courbes de niveau, déduite de l'interprétation des sondages électriques, dégage l'allure de ce substratum et indique, comme favorable, une zone où sa profondeur n'excède pas 350 m. Le forage placé en fonction des données géophysiques pénètre dans les marnes plaisanciennes à 284 m de profondeur et assure un débit artésien de 14 litres-/secondes.

Une campagne de mesures de résistivité a permis dans la plaine de Marrakech dont il a été question plus haut, de définir la position du socle schisteux constituant le substratum imperméable de la nappe aquifère de la plaine du HAOUZ.

EN CONCLUSION -

L'inventaire des ressources hydrauliques dispose maintenant d'une gamme de moyens de prospection modernes qui ont permis de développer toutes les branches de l'hydrologie :

Inventaire des ressources naturelles : pluie, eaux de ruissellement, eaux de source.

Inventaire des réserves : indispensable à l'adaptation des ressources aux besoins, compte tenu de leurs variabilités ; notamment, inventaire des eaux souterraines au sujet desquels nous avons insisté sur les méthodes géophysiques, méthodes de prospection rapides indispensables en certains cas.

Les ressources et les réserves de diverses natures se complètent mutuellement. Elles doivent être étudiées systématiquement et simultanément dans un inventaire rationnel dont la nécessité est devenue urgente dans tous les pays.

556 F - Oct. 1962 - 1,000